

수확시 숙기가 호밀 라운드베일 사일리지의 품질변화에 미치는 영향

김종근 · 정의수 · 서 성 · 강우성 · 함준상 · 김동암*

Effect of Maturity at Harvest on the Changes in Quality of Round Baled Rye Silage

J. G. Kim, E. S. Chung, S. Seo, W. S. Kang, J. S. Ham, and D. A. Kim*

Abstract

This experiment was conducted to evaluate the effect of maturity at harvest on the changes in quality of round baled rye silage at forage experimental field of Grassland and Forage Crops Division, National Livestock Research Institute, RDA, Suwon in 1998. The experimental design was a split-plot design with three replications. The main plots were three different harvest stages : boot, heading and flowering stages, and the subplots were days after ensiling : 1, 2, 3, 5, 10, 30, 45, and 60 days. The wilting period of boot, heading and flowering stages were 1, 0.5 and 0.5 days, respectively. The final pH of rye silage was higher in the order of flowering, boot and heading stages. And pH of flowering stage began to change at early fermentation period, but that of boot and heading stages was delayed 1~2 days. Ammonia-N content of boot stage was highest, and that was increased as fermentation progressed. But Ammonia-N of heading stage was decreased to 30 days, then that was increased after 45 days fermentation. Among fermentation periods, inside temperature of deep place was not affected by external temperature. And that of deep place was increased to 30°C at early fermentation, then decreased as fermentation progressed. However surface temperature was affected by external temperature after 10 days. Acetic acid content was not changed with 5 days by harvest stages, but that of boot stage was increased after 10 days. Butyric acid of boot stage was increased after 5 days, but that of heading stage was increased after 10 days. However lactic acid was increased from 1~2% to 6~8%. Lactic acid bacteria (LAB) of heading and flowering stages were highest at 5 days fermentation, and that of boot stage was highest at 10 days fermentation.

The results of this study indicate that fermentation of round baled rye silage occur within 5 days. Therefore, any modification should be applied with an 5 days for high quality of round baled rye silage.

(Key words : Rye, Silage quality, Harvest maturity, Round bale silage)

Corresponding Author : Jong Geun Kim, Grassland and Forage Crops Division, National Livestock Research Institute, Omokchun-dong, Suwon 441-706, Korea. E-mail : jonggk@rda.go.kr
*Department of Animal Science and Technology, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

I. 서 론

식물체는 사일리지로 저장되는 동안 사료가치의 변화를 거치게 되는 데 이는 혐기성 미생물의 발효에 의해 일어나게 된다. 이런 미생물의 활동은, 사일리지 내부의 다양한 발효 특성에 관련된 요인들을 변화시키게 되는데 그 변화의 폭은 식물체의 종류 및 상태에 따라 다양하게 일어난다. 발효의 첫 변화는 산도의 저하이다. 식물체 호흡으로 인하여 사일리지내에 산소가 완전히 고갈되면 혐기 미생물에 의해 식물체속의 당분이 유기산으로 분해된다(McDonald, 1991). 이때 가장 중요한 미생물은 젖산 생성균으로 당분을 젖산으로 분해되는데 때로는 초산이나 에탄올, 이산화탄소 등을 생성시키기도 한다. 젖산발효는 생성산물에 따라 homefermentative와 heterofermentative로 나누는데, homo형 발효는 당분을 2분자의 젖산으로 분해시키는 발효이며 hetero 형 발효는 젖산과 다른 부산물들을 생성하게 된다. 따라서 hetero 발효는 homo 발효에 비해 비효율적이며 일반적으로 발효의 초기에 많이 일어나며 수시간이 지나면 대부분이 homo 발효로 바뀌게 된다(Muck 및 Bolsen, 1991).

Home 발효에 의한 젖산의 생성은 사일리지 발효 2단계에서 일어나며 24~72시간 정도 지속이 되어 산도를 5.0 근처까지 떨어뜨리게 된다(Holland, 1995). 그 후 3단계에서는 약 20일간 급격한 젖산균 증가로 인해 산도가 4.0이하로 떨어지면서 안정되는 단계가 된다. 따라서 사일리지의 발효에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 단계는 발효시작 수일내로 home형 발효가 일어나도록 잘 유도하여 효율적인 발효가 되도록 해주어야 한다.

사일리지는 발효과정동안에 산도의 급격한 감소가 일어나고 온도가 상승되며 유기산 함량이 높아지게 되는데 이러한 경향들은 항상 일정하게 나타나지 않을 수 있다. 라운드베일 사일리지는 일반적으로 재료의 답압이 불충분하여 발효에 제한을 받아 산도가 높은 단점이 있다. 그러나 이런 단점들은 발효과정의 여러 가지 특성들을 이해함으로써 해결할 수 있는 방안이 있을 것으로 판단되어진다. 그간 라운드베일 사일리지에 대한 다양한 연구가 수행되고 있으나 대부분이 최종단계의 품질 분석을 통해 고품질 사일리지를 조제하려는 시도는 있었다(김 등, 1999a; 김 등, 1999b; 김 등, 2000). 따라서 본 시험은 호밀 라운드베일 사일리지에 있어서 발효기간의 경과에 따른 사일리지의

품질변화를 구명하여 고품질 사일리지 조제에 필요한 기초자료를 얻고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 사일리지 제조

사일리지 조제를 위한 호밀의 수확은 숙기별로 나누어 수잉기(4월 20일), 출수기(4월 29일) 및 개화기(5월 14일)에 mower conditioner (SM 300 Trans; FELLA-WERKE GMBH Co., Italy)를 이용하여 수확하였으며 수분 함량을 조절하기 위해 수잉기는 1일 그리고 출수기 및 개화기는 0.5 일을 예건하였다. 시험구 배치는 주구로 3회에 걸친 수확시 숙기(수잉기, 출수기 및 개화기)를 두었고, 세구는 사일리지 발효 경과일수(1, 2, 3, 5, 10, 30, 45 및 60 일)에 따른 처리를 두어 분할구 배치법 3 반복으로 수행하였다. 수확 직후 넓게 펼쳐 예건한 호밀은 집초기를 이용하여 베일링 전에 집초하였으며 지름 120 cm, 폭 120 cm 규격의 대형 라운드베일(F 21; FORT & PEGORARO Co., Italy)을 이용하여 압력 130 bar 로 베일링 하였고 보관 장소로 즉시 이동하여 wrapper (F 11; FORT & PEGORARO Co., Italy)를 이용하여 4 겹의 비닐을 감아 보관하였다. 시험에 쓰인 비닐(INTEGRATED PACKAGING RESERVOIR VICTORIA Co., Australia)은 두께가 25 μ m 이고 폭은 500 mm 이며 길이는 1,800 m 인 백색 비닐이었다.

2. 시료 분석

발효 경과일수별로 사일리지를 시료 채취기(Uni-Forage Sampler; STAR QUALITY SAMPLER Co., Canada)로 각 처리구 당 약 500 g 을 취하여 -20 $^{\circ}$ C 냉동고에 보관하였다가 사일리지 품질분석에 사용하였다.

사일리지의 pH는 사일리지 10 g 을 증류수 100 ml 에 넣고 냉장고에서 가끔씩 흔들어주면서 24 시간 보관 후 4 중 가아제로 완전히 짜서 걸러낸 액을 pH meter (HI 9024; HANNA Instrument Inc., UK)를 이용하여 측정하였다.

냉동시킨 시료를 처리별로 10 g 을 취하여 100 ml 증류수에 넣고 냉장고에서 가끔씩 흔들어 주면서 24 시간동안 보관한 후 4 중 가아제로 1 차 거른 후 여과지(No. 6)를 통하여 걸러서 추출액을

제조하여 암모니아태 질소, 젖산 및 유기산 분석에 이용하였다. 추출액은 분석에 이용할 때까지 -20 °C에서 냉동보관하였다.

암모니아태 질소 함량은 Chancy 및 Marbach (1962)의 분석법을 이용하였고 흡광도 측정은 Spectrophotometer (UVIDEC-610, Jasco Co., Japan)을 이용하였다. 젖산 함량은 Barker 및 Summerson 법 (한 등, 1983)을 이용하여 분석하였으며, 유기산의 분석은 Gas chromatography(V-3800, Varian Co., USA)를 이용하였다.

젖산균의 분석은 사일리지 시료 10 g 을 90 ml 의 희석액에 섞고 10분간 진탕한 후 일정한 배율로 계속 희석하여 0.02 % sodium azide가 함유된 MRS 배지에 도말한 후 37°C에서 48 시간 배양 후 형성된 균락의 수를 희석배수와 환산하였다.

통계처리는 SAS Package program (ver. 6.12)을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 처리 평균간 비교는 최소 유의차점정 (LSD)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사일리지의 pH 및 암모니아태 질소 함량 변화

발효단계에 따른 산도의 변화에 있어서는 최종적으로 60 일후의 산도는 개화기 < 수잉기 < 출수

기 순으로 나타났으며 초기 pH의 감소는 수잉기나 출수기에 비해 개화기에서 1~2일 더 빨리 일어났다. 그러나 출수기의 경우 60 일까지도 산도가 5.0 이하로 떨어지지 않아 발효가 느리게 진행됨을 알 수 있었다. 그러나 개화기의 산도는 4.44 로서 라운드베일 사일리지의 평균산도가 5.03 이라는 보고 (Haigh, 1990) 에 비하여 낮게 나타나 본 시험의 개화기에 제조한 호밀의 품질은 pH 만을 고려할 경우 고품질인 것으로 생각되었다.

한편 Patterson 등 (1997)은 일반 트랜치 사일로 의 경우 사일리지 제조 후 5일까지 급격한 pH의 감소가 일어나고 7일경에는 대부분 4.0 이하로 떨어지면서 이후 서서히 감소한다고 하였는데 본 시험의 라운드베일 사일리지는즙액의 삼출이 적어서 발효가 상당히 제한적으로 일어나기에 산도도 일반 사일로보다 높게 나타난 것을 알 수 있었다.

발효단계에 따른 암모니아태 질소 함량의 변화를 살펴보면 Table 1과 같은데 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보여주었다. 특히 안정기에 접어든 제조후 60 일째에 출수기 제조구와 개화기 제조구는 각각 11.2 와 8.6 % 였는데 비해 수잉기 제조구에서는 15.7 % 로 높게 나타나 암모니아태 질소 함량으로 추정할 경우 개화기 제조구는 양질의 사일리지가 만들어졌고 출수기는 2 등급 그리고 수잉기는 품질이 불량한 것으로 생각되었다 (Haigh, 1990).

Table 1. Effect of maturity at harvest on the changes of acidity (pH) and ammonia-N of round baled rye silage during storage

Days after ensiling	pH			Ammonia-N (% NH ₃ -N/TN)		
	Maturity at harvest			Maturity at harvest		
	Boot	Heading	Flowering	Boot	Heading	Flowering
1	6.41	6.44	6.25	10.6	9.7	6.8
2	6.39	6.32	5.83	11.5	9.3	7.0
3	6.10	6.19	5.28	12.3	9.5	7.6
5	5.29	5.59	5.01	13.7	8.3	7.8
10	5.16	5.35	4.72	15.4	8.4	8.5
30	5.03	5.26	4.63	15.6	8.7	8.3
45	4.89	5.12	4.57	15.3	10.9	7.2
60	4.72	5.09	4.44	15.7	11.2	8.6
Average	5.50 ^b	5.67 ^a	5.10 ^c	13.7 ^a	9.5 ^b	7.7 ^c
Probability	M*	D	M×D	M	D	M×D
	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.1157	0.4426

*M : maturity at harvest, D : days after ensiling.

2. 사일리지의 온도 변화

발효과정 동안 사일리지의 온도 변화는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 베일 외부 0~30 cm 사이의 온도는 5일경 까지는 초기발효로 인해 30 °C 전후로 유지되었으나 그 이후에는 외부기상의 영향을 많이 받아 외기와 비슷한 경향으로 온도가 변화하였으며 발효 후반부까지 온도가 일정하지 않았다. 그러나 베일내 30~60 cm 사이의 심부 온도는 초기 약 28 °C 내외에서 계속적으로 완만하게 온도가 떨어져 22 °C 부근에서 안정되는 경향을 보였다. 그러나 심부온도는 외부 기온의 변화와는 관련이 없는 것으로 나타났다. 한편 Kennedy (1990)은 사일리지의 온도는 3일째 절정에 이르고 10일 후부터 낮아져 24 °C 부근에서 안정을 이룬다고 하였는데, 본 시험에서 내부온도는 3~5일에 절정기에 도달했고 이후 계속 감소하여 22 °C 부근에서 안정을 나타내었다.

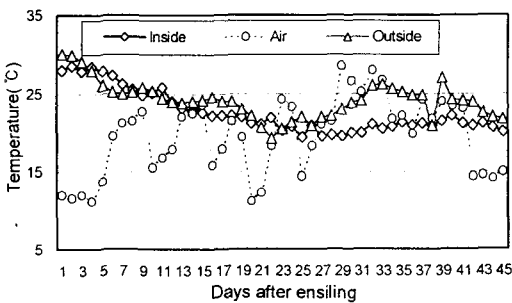
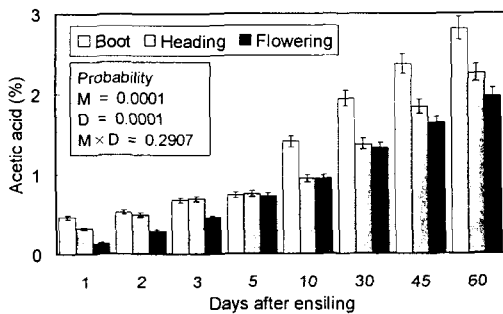
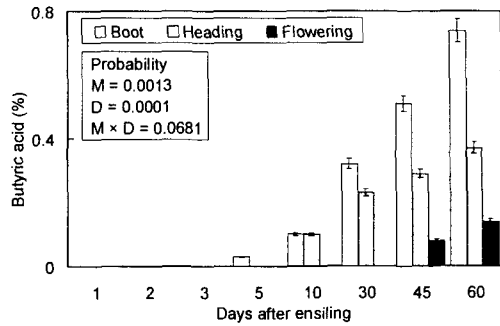


Fig. 1. Daily average temperature of round baled rye silage inside (30~60 cm) and outside (0~30 cm).



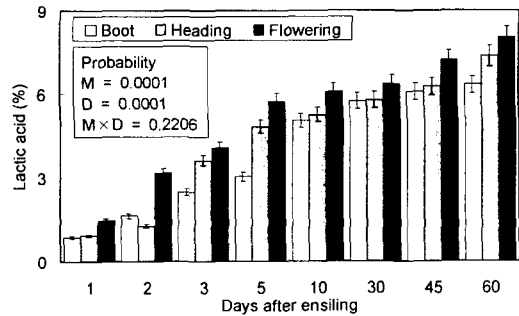
M : maturity at harvest, D : days after ensiling.

Fig. 2. Effect of maturity at harvest on the changes of acetic acid of round baled rye silage during storage.



M : maturity at harvest, D : days after ensiling.

Fig. 3. Effect of maturity at harvest on the changes of butyric acid of round baled rye silage during storage.



M : maturity at harvest, D : days after ensiling.

Fig. 4. Effect of maturity at harvest on the changes of lactic acid of round baled rye silage during storage.

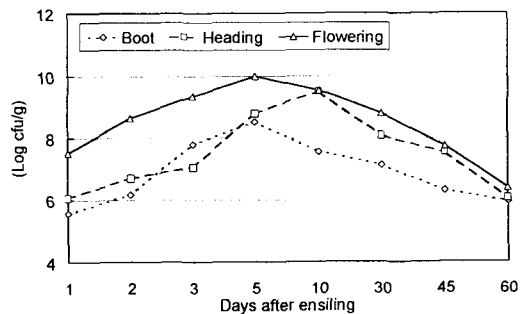


Fig. 5. Effect of maturity at harvest on the changes of lactic acid bacteria population of round baled rye silage during storage.

3. 사일리지의 유기산 함량 변화

초산 함량에 있어서는 발효가 진행됨에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났으며 수확시 숙기별로는 수잉기에 제조한 사일리지에서 가장 높은 함량을 보였으며 개화기에 제조한 사일리지에서 가장 낮게 나타났다. 낙산의 경우도 시간이 경과함에 따라 증가하였으나 개화기의 경우 발효가 완료되어가는 30~45일경에 검출되는 것으로 나타났다. 유산 함량에 있어서는 개화기에 8.04%로 나타나 가장 높았으며 매 수확시 숙기별로는 유의적인 차이를 보였다.

초산 함량은 발효초기 5일까지 크게 증가하였지만 수확시 숙기 사이에는 큰 차이가 없었으며 이후에도 지속적으로 증가하였는데 특히 수잉기 제조구가 가장 높은 증가량을 보여서 60일째에는 2.8% 정도로 가장 높은 경향을 보였고, 출수기와 개화기는 2.0% 내외로 낮게 나타났다. 따라서 출수기와 개화기는 사일리지의 발효가 상대적으로 안정을 이룬 반면 수잉기는 hetero형 발효가 일어나 초산 함량이 증가한 것으로 생각되었다.

낙산 함량에 있어서는 발효초기에는 검출되지 않았으나 수잉기에서는 5일째, 출수기에서는 10일째, 그리고 개화기에는 45일째 나타나기 시작하여 낙산발효는 발효 후반부의 관리소홀로 발생함을 알 수 있었다.

사일리지 품질에 가장 큰 영향을 주는 젖산 함량은 Fig. 8에 나타나 있다. 수잉기에 있어서는 발효 5일 이후에 급격히 증가되었고 출수기는 3일째, 개화기는 2~3일째로 수확이 지연될수록 증가시기가 점차 당겨졌다. 한편 Nicholson 등 (1991)은 수분함량이 높은 재료일수록 젖산 함량의 증가시기가 앞당겨진다고 하여 본 시험과는 차이를 보였다.

4. 사일리지의 젖산균수 변화

발효단계에 따른 젖산균수의 변화는 수잉기와 개화기에서는 5일, 출수기에서는 10일에 가장 높은 수를 보였으며 이후 점차 감소하여 60일째에는 6.0 log cfu/g까지 감소하여 안정되는 것으로 나타났다. 특히 젖산균의 수는 수확시 숙기가 늦어짐

에 따라 높아져 개화기에서 가장 높은 수치를 보였는데 이는 젖산 함량이 높은 것과 관련이 있을 것으로 보여진다.

한편 Sebastian 등 (1996)은 젖산균의 수가 8.5에서 7 log cfu/g 근처에서 절정을 이룬 후 안정되고 절정은 7~20일 전후에서 이루어진다고 하였으며, Nicholson 등 (1991)도 최고 절정은 9일 전후에서 이루어진다고 하여 본 시험보다는 다소 늦게 이루어졌다.

IV. 적 요

본 시험은 1998년 축산기술연구소 초지사료과 시험포장에서 호밀 라운드베일 사일리지 제조시 수확시 숙기별로 발효가 진행됨에 따라 사일리지의 품질에 미치는 영향을 비교하기 위하여 수행되었다. 시험 설계는 분할구 배치법으로 주구는 수잉기, 출수기 및 개화기에 수확하는 수확시 숙기를 두고 세구로는 발효 경과 일수 (1, 2, 3, 5, 10, 30, 45 및 60 일)를 두고 3 반복으로 수행하였으며 라운드베일 사일리지 제조시 호밀은 수잉기에는 1일, 출수기 및 개화기에는 0.5일간 예건하였다. 최종 pH는 개화기 > 수잉기 > 출수기의 순으로 나타났다. 개화기는 pH의 감소가 발효초기에 일어났으나 수잉기와 출수기는 1~2일 늦어짐을 알 수 있었다. 암모니아태 질소 함량은 수잉기에서 높은 비율로 나타났고 발효가 진행됨에 따라 증가되었다. 그러나 출수기에서는 발효 30일째까지 감소한 후 45일 이후에 다시 증가하였다. 발효단계별 온도에 있어서 내부온도는 기상의 영향을 받지 않고 초기 30°C 부근까지 상승한 후 계속 감소하였으나 외부온도는 10일 후부터 기상에 따라 변화하는 경향을 보여주었다. 초산 함량은 5일째까지는 수확시 숙기에 따른 차이가 없었으나 10일 후부터는 수잉기에서 높아졌으며 낙산 함량도 수잉기는 5일째, 출수기는 10일 후부터 발생되었으며 젖산 함량은 초기 1~2% 내외에서 6~8% 내외까지 지속적으로 증가되었다. 젖산균수는 출수기와 개화기는 5일째 그리고 수잉기는 10일째에 가장 높은 수치를 나타내었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 호밀 라운드베일 사일리지의 발효는 초기 5일 이내에 대부분이 일

어나며 따라서 초기 발효조건을 맞추는 것이 고품질 사일리지를 제조할 수 있는 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다.

V. 인 용 문 헌

1. 김종근, 김동암, 정의수, 강우성, 함준상, 서성. 1999. 수확시 숙기 및 젖산균 제제가 호밀 라운드베일 사일리지의 품질에 미치는 영향. 한초지. 19(4):347-354.
2. 김종근, 김동암, 정의수, 서성, 김종덕, 함준상. 1999. 수확시 숙기 및 비닐색이 호밀 라운드베일 사일리지의 품질에 미치는 영향. 한초지. 19(4): 355-362.
3. 김종근, 정의수, 서 성, 강우성, 함준상, 이성철. 2000. 제조방법이 라운드베일 연맥 사일리지의 품질에 미치는 영향. 한초지. 20(3):185-192.
4. 한인규, 이영철, 정근기, 김영길, 안병홍, 명규호, 고태송. 1983. 영양학 실험법. 동명사.
5. Association of Official Analytical Chemistry. 1995. Official Methods of Analysis. (16th ed.). AOAC, Arlington, VA.
6. Chaney, A.L. and E.P. Marbach. 1962. Modified reagent for determination of urea and ammonia. Clin. Biochem. 8:130.
7. Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. Agric. Handb. 379, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
8. Haigh, P.M. 1990. The effect of dry matter content on the preservation of big bale grass silages made during the autumn on commercial farms in South Wales 1983-87. Grass Forage Sci. 45:29-34.
9. Holland Civil. 1995. A nutritional guide. Pioneer forage manual. Pioneer Hi-Bred International, Inc., Des Moines, Iowa, USA.
10. Kennedy, S.J. 1990. An evaluation of three bacterial inoculants and formic acid as additives for first harvest grass. Grass Forage Sci. 45:281-288.
11. McDonald, P. 1981. The biochemistry of silage. John Wiley & Sons Ltd. England.
12. Moore, J.E. 1970. Procedure for the two-stage *in vitro* digestion of forage. University of Florida, Department of Animal Science.
13. Nicholson, J.W.G., R.E. McQueen, E. Charmley and R.S. Bush. 1991. Forage conservation in round bales or silage bags: effect on ensiling characteristics and animal performance. Can. J. Anim. Sci. 71:1167-1180.
14. Patterson, D.C., C.S. Mayne, F.J. Gordon and D. J. Kilpatrick. 1997. An evaluation of an inoculant/enzyme preparation as an additive for grass silage for dairy cattle. Grass Forage Sci. 52:325-335.
15. Richard, E. Muck, and K.K. Bolsen. 1991. Silage preservation and silage additive products. Field guide for Hay and Silage Management in north America. National Feed Ingredients Association.
16. Sebastian, S., L.E. Phillip, V. Fellner and E.S. Idziak. 1996. Comparative assessment of bacterial inoculation and propionic acid treatment on aerobic stability and microbial populations of ensiled high-moisture ear corn. J. Anim. Sci. 74:447-456.